

고속철도 환경소음 예측 모델 고찰

Review on Environment Noise Prediction Methods Emitted by High Speed Trains

조대승†
Dae-Seung Cho

정홍구*
Hong-Gu Jeng

조준호**
Jun-Ho Cho

장강석***
Kang-Seok Jang

윤제원***
Jae-Won Yoon

ABSTRACT

Planning and construction of railway for high speed trains up to 400 km/h are recently driven in Korea. High speed train is one of the environment-friendly fastest mass transportation means but its noise generated by rolling, traction and aerodynamic mechanism can cause public complaints of residents nearby railways. To cost-effectively prevent the troublesome noise in a railway planning stage, the rational railway noise prediction method considering the characteristics of trains as well as railway structures should be required but it is difficult to find an authentic method for Korean high speed trains such as KTX and KTX-II.

In this study, recent railway noise prediction methods developed by EU countries are introduced and discussed for consulting before setting the framework of our own railway noise prediction model emitted by Korean high speed trains over 250 km/h. Especially, the new Schall 03 model (2006) developed by Germany and IMAGINE model (2007) suggested by an EU framework research project are intensively reviewed. In addition, research items required for the development of our own model are suggested.

1. 서론

친환경 대중 고속 운송 수단인 고속열차는 우리나라를 포함한 일본, 중국, EU 일부 국가 등에서 운용되고 있으며, 최근에는 미국, 브라질 등에서 건설 및 운용을 계획하고 있다. 이에 국내에서는 기존 300km/h급인 KDX-I과 KDX-II 보다 빠른 400 km/h 급 고속열차 개발과 철도 인프라 건설 추진과 함께 관련 산업의 수출 산업화를 시도하고 있다. 한편, 정온 환경에 대한 높은 관심과 이에 따른 규제가 강화되고 있는 상황에서 고속열차 운행 시 진동, 추진 및 공력 메커니즘 등에 의해 발생하는 환경소음은 고속철도 인근 지역 주민들의 민원을 야기할 수 있다. 따라서, 저소음친환경 고속철도를 운용하기 위해서는 고속열차 개발 및 철도 설계 단계에서 고속 주행 열차로 인한 환경 소음 수준을 평가하고, 저비용-고효율 방음대책을 수립할 수 있는 환경소음 시뮬레이션 기술이 요구된다. 그러나, 국내의 경우 철도 환경소음예측을 위한 부분적 연구는 수행[예로서 1]된 바 있으나 국내 운행 열차의 특성을 고려한 독자 철도 환경소음예측모델이 없는 실정이다.

철도에 대한 환경소음 예측모델은 영국, 독일, 프랑스 등의 EU 국가들을 중심으로 다양하게 제시되었으며, 이에 관한 개요는 EU의 6차 프레임워크 프로젝트로 2003년 12월부터 2006년 12월까지 27개 기관이 공동 수행한 Imagine 프로젝트[2] 보고서에 소개되어 있다[3]. 철도 환경소음은 열차의 종류와 운행 방식, 철도 구조 등에 따라 달라진다. 이로 인해 영국의 CRN[4], Nord2000[5]을 포함한 대부분의 기존 철도 환경소음예측모델은 자국 운행 열차 중심으로 소음원 자료를 제시하고 있어 300km/h 급 이상의 고속열차에 대한 소음원 자료를 입수하기 곤란하다. 한편, 가장 최신의 철도환경소음모델에 해당하는 독일의 개정 Schall 03 [6] 모델의 경우 철도 소음의 발생메커니즘을 정밀하게 반영한 소음원 음

† 교신저자, 부산대학교, 조선해양공학과
E-mail : daecho@pusan.ac.kr

* 한국철도기술연구원

** 유니스테크놀러지(주)

향파위레벨 평가와 모델링 기법 및 ISO 9613-2[7]에 기반한 전달감쇠 평가 방법을 제시하고 있다. 또한, 영업속도 300km/h급인 Thalys PBKA 열차를 포함한 다양한 열차들에 대한 소음원 음향파위레벨 산정 자료를 제시하고 있다. 아울러, Imagine 프로젝트의 철도 관련 연구 결과[8]에서도 열차에 대한 상세 소음원 자료는 제한적으로 공개하고 있으나 철도 소음원 음향파위레벨 평가와 모델링 기법 등에 관한 최신의 연구결과를 소개하고 있다.

본 연구에서는 국내에서 운행 중인 300km/h 급 고속열차 KDX-I과 KDX-II는 물론 현재 개발 중인 400km/h급 고속열차 HEMU400X를 대상으로 한 국내 고유의 고속철도 환경소음예측모델을 정립하기 위해 EU 국가 등에서 최근에 개발한 철도 소음예측방법을 소개한다. 특히, 2006년에 개정된 독일 철도 소음예측방법인 Schall 03과 EU 연합의 Imagine 프로젝트에 의해 개발된 철도소음예측에 대한 Imagine 모델을 중점 고찰한다. 또한, 이를 통해 우리 고유의 고속열차 환경소음 예측 모델 개발에 필요한 연구 분야를 제시한다.

2. 철도 환경소음 예측절차 개요와 발생 영향 인자

2.1 철도 환경소음 예측 절차 개요

철도를 포함한 모든 환경소음예측은 소음원 음향발생특성 평가와 등가 소음원 모델링, 전달경로상의 감쇠량 평가 및 수음점에서의 시간 및 주파수 가중치와 국가별 환경소음 평가기준을 고려한 음압레벨 계산 절차를 요구한다. 'Fig. 1'에는 상기 절차별 고속철도 환경소음예측에 필요한 연구항목을 나타내었다.

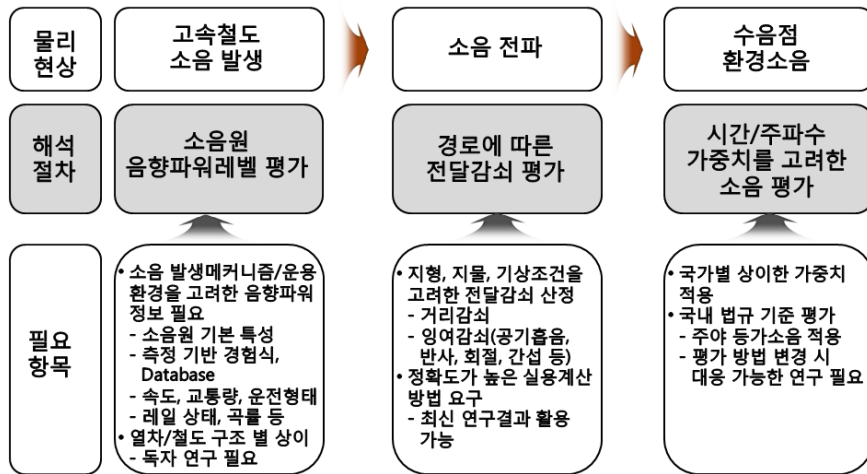


Fig. 1 General environmental noise prediction procedure and required information for railway noise prediction

2.2 철도 환경소음 발생 영향 인자

열차의 종류와 운전 형태는 물론 철도 구조에 의해서도 소음 발생량과 특성이 달라지는 철도 환경소음은 크게 레일과 차륜의 간섭으로 인한 전동소음, 추진동력에 의한 추진소음, 열차 주행 시 발생하는 공력 소음, 브레이크 및 스킵 소음 등에 의해 발생하며, 300 km/h 이상의 고속화가 될수록 공력소음의 영향이 커지게 된다. 'Fig. 2'에는 열차 속도별 전동, 추진, 공력 소음의 크기 변화 양상[8]을 나타내었으며, Table 1에는 철도 환경소음에 영향을 미치는 영향 인자를 나타내었다.

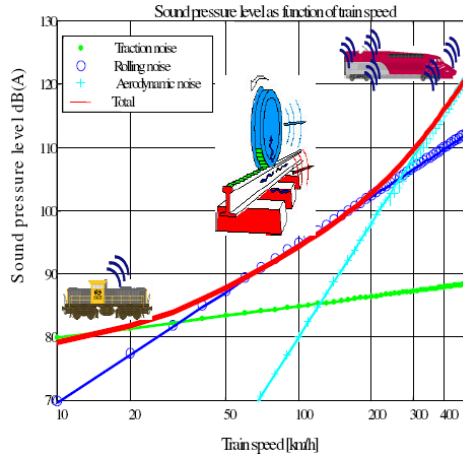


Fig. 2 The three regimes of railway environmental noise [8]

Table 1 Railway noise generation factors and their characteristics

Classification	Noise generation factors
Train	<ul style="list-style-type: none"> ·Shapes of vehicle, pantograph, bogies(aerodynamic noise) ·Propulsion and auxiliary equipment (traction noise) ·Wheel roughness (rolling noise) ·Brake type (braking noise)
Railway	<ul style="list-style-type: none"> ·Rail roughness and discontinuity (rolling noise including impact noise) ·Radius of track (squeal noise) ·Track type (reflection) ·Bridge type (structure-borne noise)
Operation	<ul style="list-style-type: none"> ·Train speed (rolling, traction, aerodynamic noise) ·operation mode such as deceleration (braking noise)
Traffic	·Traffic volume per train type, per hour

3. 최신 철도 환경소음 예측 방법

1980년대 이후 철도 환경소음 예측과 저감을 위한 다양한 모델들이 EU 국가를 중심으로 사용되고 있다. 본 장에서는 이들 중 가장 최신의 연구 성과를 반영한 Schall 03 2006[6]과 IMAGINE 프로젝트의 철도 관련 연구결과[8]를 중점 소개하고자 한다.

3.1 Schall 03 2006[6]

Schall 03 1990[9]의 새로운 개정판에 해당하는 Schall 03 2006[6]은 철도, 전차 및 이의 조차장 환경소음 예측 방법을 제시하고 있다. 이 모델은 10종 20가지의 열차 또는 차량 구성에 대해 소음 발생 메커니즘에 따라 11개의 부분 소음원(전동소음 4개, 공력소음 3개, 장비소음 2개, 추진소음 2개)으로 분류하고, 이들 점 소음원이 레일 상면 기준 0m, 4m, 5m에 분포하는 것으로 모델링한다. 또한, 중심 주파수 기준 63 Hz부터 8 kHz 까지의 1/1-옥타브밴드 대역별 계산을 적용한다.

Schall 03 2006은 열차 유형과 편성을 고려하여 특정 열차(F_z) 1대 주행 시 1/1-옥타브 밴드 중심 주파수 f 에서의 높이 h 에 위치한 단위 길이(1m) 당 부분 점 소음원 (m)의 A-가중치 음향파워레벨 L_{WA,f,h,m,F_z} 를 다음과 같이 산정한다.

$$L_{WA,f,h,m,F_z} = a_{A,h,m,F_z} + \Delta a_{f,h,m,F_z} + 10 \log \frac{n_Q}{n_{Q,0}} + b_{f,h,m} \log \frac{v_{F_z}}{v_0} + \Sigma c_{f,h,m} + \Sigma K \text{ dB} \quad (1)$$

여기서,

a_{A,h,m,F_z} : 표준 레일표면 조건에서 열차가 기준 속도 $v_0 = 100km/h$ 로 주행할 때의 단위 길이 당 A-가중치 총합음향파위레벨

$\Delta a_{A,h,m,F_z}$: 1/1-옥타브밴드 중심주파수 f 에서 a_{A,h,m,F_z} 과의 레벨 차이 (dB)

n_Q : 차축 개수

$n_{Q,0}$: 기준 차축 개수

$b_{f,h,m}$: 속도 비례 계수

v_{F_z} : 열차 속도 (km/h)

v_0 : 기준 열차 속도 ($v_0 = 100km/h$)

$\Sigma c_{f,h,m}$: 도상 유형과 레일 표면 거칠기에 대한 1/1-옥타브 밴드별 보정치 (dB)

ΣK : 교량 유형 및 비정상 소음 (스컬, 브레이크 소음)에 대한 보정치 (dB)

상기 결과를 이용하여 특정 유형의 열차 (F_z)가 단위 시간 당 n_{F_z} 주행 시 높이 h 에 위치한 단위 길이 당 음향파위레벨 $L_{WA,f,h}$ 는 식 (2)와 같이 산정한다.

$$L_{WA,f,h} = 10 \log \left(\sum_{m,F_z} n_{F_z} 10^{0.1 L_{WA,f,h,m,F_z}} \right) \text{ dB} \quad (2)$$

철도의 점 소음원 모델링을 위해 철도 트랙은 동일 교통량, 속도, 운전조건, 철로 구조 등을 고려하여 분할하되 0.1 dB 이내의 정확도를 보장하기 위해서는 트랙의 분할 요소 길이 l_{k_s} 는 분할요소 중심으로부터 환경 소음 평가 대상 수음점까지의 거리 d_{k_s} 의 절반 보다 작아야 한다. 또한, 길이 l_{k_s} (m)로 분할된 철도 트랙의 중앙에 위치하는 점 소음원의 음향파위레벨 $L_{WA,f,h}$ 은

$$L_{WA,f,h} = L_{WA,f,h} + 10 \log \frac{l_{k_s}}{l_0} \text{ dB} \quad (3)$$

와 같다. 여기서 l_0 는 1m이다. 철도 소음의 지향성 계수 D_{I,k_s} 은 'Fig. 3'에 보인 바와 같이 점 소음원으로부터 수음점까지의 음선과 트랙 중심선과의 사이각 δ_{k_s} 을 이용하여 다음과 같이 평가한다.

$$D_{I,k_s} = 10 \log (0.2 + 1.2 \sin^2 \delta_{k_s}) \text{ dB} \quad (4)$$

한편, Schall 03 2006은 전달감쇠를 ISO 9613-2를 준용하여 0m, 4m, 5m에 위치한 각각의 점 소음원에 대해 기하학적 확산 효과 (A_{div}), 공기흡음효과 (A_{atm}), 지면효과 (A_{gr}) 및 방음벽 등의 구조물로 인한 회절효과 (A_{bar})를 고려하여 계산하며, 반사효과는 경상 소음원(image mirror source)을 이용하여 반영한다. 각각의 전달감쇠항의 산정에 있어서, 공기흡음효과는 온도 10°C, 상대습도 70%을 표준 대기조건으로 계산하며, 지면효과는 굴곡지형에 대한 등가 높이를 산정하되 주파수 대역별 지면 효과의 차이를 무시한 방법을 적용한다. 또한, 회절감쇠 산정에 있어서 3중 이상의 다중 회절인 경우에 ISO 9613-2에 명시되지 않은 회절경로 평가 방법을 제시하고 있다.

Schall 03 2006은 지면 효과, 브레이크, 교량 효과 등에 대해 주파수 특성을 무시하고 있으나 철도 소음 전반에 대한 상세한 자료를 제시하고 있어 국내 고유의 철도소음 환경예측 모델 개발 시 유용하

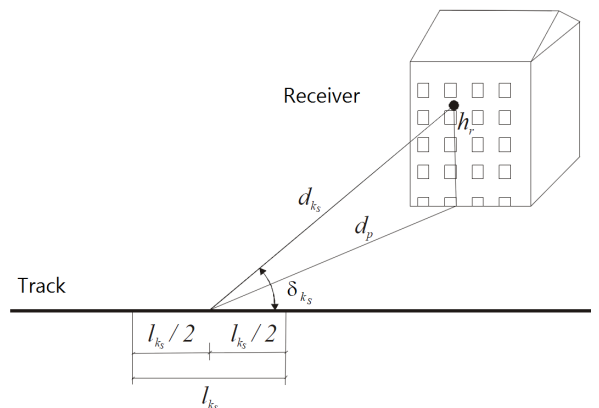


Fig. 3 Definition of δ_{k_s}

게 활용될 수 있다고 평가한다.

3.2 IMAGINE model[8]

EU 국가의 서로 다른 환경소음 예측 방법을 통일하기 위해 수행된 IMAGINE 프로젝트[1]의 일환으로 수행된 철도 소음원의 음향파워레벨 평가 방법[8]은 열차 및 철로 구조로 인한 소음원을 레일 상면 기준 0.0m (레일로 인한 전동소음), 0.5m (바퀴로 인한 전동소음, 공력, 추진 소음), 2m (추진소음), 3m(추진소음), 4m(공력소음)의 높이 방향으로 분포된 5개의 점 소음원으로 모델링한다. 또한, 중심 주파수 기준 25 Hz부터 10 kHz 까지의 1/3-옥타브밴드 대역별 계산을 적용한다.

IMAGINE 모델에서는 길이가 l_u 인 특정 열차(F_z)가 속도 v_k 로 운행할 때 1/3-옥타브 밴드 중심 주파수 f 에서의 높이 h 에 위치한 부분 점 소음원의 단위 길이(1m) 당 음향파워레벨 L_{W,k,f,h,F_z} 은 다음과 같이 산정한다.

$$L_{W,k,f,h,F_z} = \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P 10 \log \left(10^{0.1 \{ L_{W,k,p,f,h,F_z} + 10 \log \left(\frac{l_u}{1000 v_k} \right) + C_{dir,p,f,h} \}} \right) \text{ dB} \quad (5)$$

여기서,

K : 해당 철로에서의 운전 조건 ($k=1$: 정속주행, $k=2$: 브레이크에 의한 감속, $k=3$: 가속주행, $k=4$: 커브 주행)

P : 소음 유형($p=1$: 전동 및 충격 소음, $p=2$: 추진소음, $p=3$: 공력소음, $p=4$: 브레이크 소음, $p=5$: 트랙 곡물에 의한 스켈 소음)

L_{W,k,p,f,h,F_z} : 운전조건 k , 소음 유형 p , 소음원 높이 h , 주파수밴드 f 에서의 열차 F_z 의 단위 길이 당 음향파워레벨

$C_{dir,p,f,h} = 10 \log(0.01 + 0.99 \cos^2(\pi/2 - \phi))$: 소음 유형 p , 소음원 높이 h , 주파수밴드 f 에서의 지향성 (dB)

ϕ : 트랙과 전파경로 간의 사이각

식 (5)의 적용에 있어서 L_{W,k,p,f,h,F_z} 는 열차 길이가 l_{veh} , 속도가 v_{F_z} 로 주행할 때 트랙으로부터 7.5m 떨어진 위치에서 통과 시간 $T_p = l_{veh}/v_{F_z}$ 동안 측정된 시간평균 등가소음 L_{peq,T_p,k,p,f,h,F_z} 를 이용하여 다음과 같이 평가한다.

$$L_{W,k,p,f,h,F_z} = L_{peq,T_p,k,p,f,h,F_z} - \overline{A_{line,propagation}^h(T_p)} \text{ dB} \quad (6)$$

여기서,

$$\overline{A_{line,propagation}^h(T_p)} = 10 \log \left\{ \frac{1}{4\pi r N} \sum_n^N \int_{\phi_{n,\min}}^{\phi_{n,\max}} 10^{0.1 [\Delta L(\phi_n) - A_{excess}^h(\phi_n)]} d\phi_n \right\} \text{ dB} \quad (7)$$

r : 측정 거리 (7.5m)

N : 트랙 1m에 위치한 부분 소음원의 개수

ϕ_n : 부분 소음원으로부터 측정점까지의 전파경로와 트랙 사이의 각도

A_{excess}^h : 부분 소음원으로부터 측정점까지의 잉여 감쇠 (거리 감쇠 제외)

IMAGINE 모델에서는 길이 70m가 넘는 철도의 높이 별 부분 소음원에 기온 15°C, 상대습도 50%인 중립 기상조건에서 지면 임피던스가 200 ~ 200,000kPa/m²인 경우에 대해 Nord2000방법으로 계산한

$A_{line,propagation}^h(T_p)$ 를 제시하고 있다. 따라서, 각각의 부분 소음원에 대해 트랙으로부터 7.5m 떨어진 위치에서의 $L_{peq, T_p, k, p, f, h, F_z}$ 를 예측 또는 계산으로 평가하면 식 (5)의 적용에 요구되는 L_{W, k, p, f, h, F_z} 를 평가할 수 있다. IMAGINE 모델에서 적용하고 있는 각각의 부분 소음원에 대한 음압레벨 추정 기본 체계는 Table 2에 나타내었으며, 단위 시간당 높이 별 점 소음원의 음향과위레벨 평가 방법은 Schall 03 2006과 동일하다.

Table 2. Calculation formula for each source type defined in IMAGINE method[8]

Source type	Typical source heights	Formula
Rolling noise including impact noise	0m, 0.5m	$L_{p,f,roll}(0m) = L_{r,tot,f}(v) + L_{Hpr,nl,tr,f} + 10\log(N_{ax}/l_{veh})$ $L_{p,f,roll}(0.5m) = L_{r,tot,f}(v) + L_{Hpr,nl,veh,f} + 10\log(N_{ax}/l_{veh})$ $\cdot L_{r,tot,f}$: total effective roughness depending on wave length $\cdot L_{Hpr,nl,tr,f}, L_{Hpr,nl,veh,f}$: velocity-independent track and vehicle transfer function $\cdot N_{ax}$: No. of axles $\cdot l_{veh}$: train speed
Traction noise	0.5m, 2m, 3m, 4m	$L_{p,f,traction} = L_{p,f,d} \oplus L_{p,f,fan} \oplus L_{p,f,etc}$ $\cdot L_{p,f,d} = L_{p,f,d,v_d} [f(v_{d,max}/v_d)] + C_d \log(v_d/v_{d,max})$ $\cdot L_{p,f,fan} = L_{p,f,fan,v_{fan}} [f(v_{fan,max}/v_{fan})] + C_{fan} \log(v_{fan}/v_{fan,max})$ $\cdot L_{p,f,etc} = L_{p,f,q}(f) + 10\log(d_q)$ $\cdot L_{p,f,d}, L_{p,f,fan}, L_{p,f,etc}$: SPL due to drive, fan and auxiliary equipment $\cdot v_d$: drive speed $\cdot v_{d,max}$: max. drive speed $\cdot C_d$: drive constant $\cdot v_{fan}$: fan speed $\cdot v_{fan,max}$: max. fan speed $\cdot C_{fan}$: fan constant $\cdot L_{p,f,q}(f)$: SPL of auxiliary source $\cdot d_q$: duty factor (proportion of operation time to total time)
Deceleration noise	0.5m	$L_{p,f,dec} = L_{p,f,brake}(v) \oplus L_{p,f,squeal}$ $\cdot L_{p,f,brake} = L_{p,f,brake}(v_0) + C_{brake} \log(v/v_0)$ $\cdot L_{p,f,squeal} = L_{p,f,squeal} + 10\log(d_{squeal})$ $\cdot L_{p,f,brake}, L_{p,f,squeal}$: SPL due to braking and squeal $\cdot L_{p,f,brake}(v_0)$: SPL due to braking at reference speed v_0 $\cdot C_{brake}$: brake constant $\cdot v$: train speed $\cdot L_{p,f,squeal}$: squeal noise level $\cdot d_{squeal}$: squeal duration
Curve squeal	0.5m	$L_{p,squeal} = constant$ (average value) in curve with $d < 1000m$ or $L_{p,f,squeal} = L_{p,f,squeal}(v_0, R_0) + 20\log(v/v_0) - 20\log(R/R_0)$ $\cdot L_{p,f,squeal}(v_0, R_0)$: squeal noise level at train speed v_0 at curved track of radius R_0 $\cdot v$: train speed $\cdot R$: radius of curved track
Aerodynamic noise	0.5m, 2m, 3m, 4m	$L_{p,f,aero}(h, v) = L_{p,f,aero}(h, v_0) + \alpha_f(h) \log(v/v_0)$ $\cdot L_{p,f,aero}(h, v_0)$: aerodynamic noise level at height h and train speed v_0 $\cdot \alpha_f(h)$: speed factor at height h $\cdot v$: train speed
Note: Symbol $\Sigma \oplus$ means $\Sigma \oplus X_i = 10\log(10^{0.1X_1} + 10^{0.1X_2} + \dots)$		

한편, IMAGINE 모델에서 철도 소음원의 전달감쇠는 Hamonoise 방법[10]을 적용하고 있다. 이 방법은 철도 높이 및 길이 방향으로 분포된 각각의 점 소음원에 대해 기하학적 확산 효과 (A_{div}), 공기흡음효과 (A_{atm}), 지면 반사와 회절로 인한 초과 감쇠효과 (A_{excess}) 및 구조물 및 숲 등으로 인한 산란효과 (A_{scat})를 고려하여 계산하며, 반사효과는 경상 소음원(image mirror source)을 이용하여 반영한다. 각각의 전달감쇠항의 산정에 있어서, A_{div} 와 A_{atm} 의 계산방법은 ISO 9613-2와 동일하나 A_{excess} 는 소음원과 수음점 사이의 지형 굴곡 및 구조물 등으로 분할되는 경로를 블록외면으로 구성하고, 회절 및 지면반사 효과를 Fresnel 영역과 지면반사계수 등을 고려하여 계산하는 방법을 적용하고 있다. 아울러, 기상효과는 풍속과 온도의 높이 방향 구배에 따른 소음 전달 곡선 음선을 고려하여 반영하고 있다.

IMAGINE 모델은 철도 소음원의 기여도 분리 및 소음원 모델링 방법을 원론적으로 정밀하게 제시하고 있으나 계측 또는 해석에 의해 확보한 상세 자료를 프로젝트에 참여한 기관들에게 배포된 데이터베이스를 통해서만 활용할 수 있고, 공개적으로 입수 가능한 자료는 제한되어 있어 활용에 제한을 받는다.

3.3 고찰

철도를 포함한 모든 환경소음예측은 소음원의 발생메커니즘을 고려한 음향파위레벨 평가, 소음원과 수음점 사이의 전달경로상의 감쇠 평가 및 당해 국가에서 적용하고 있는 방법에 따른 수음점의 음압레벨 기준 환경소음평가가 요구된다. 이들 중 전달감쇠 평가는 기상조건, 지형·지물 등이 동일하면, 전달감쇠량도 동일하므로 ISO 9613-2와 같이 공신력과 정확도가 보장되는 기존의 방법들을 활용할 수 있다. 그러나, 소음원의 음향파위레벨은 국가 또는 지역 별 소음원의 상세 종류와 운용 및 규제 방법 뿐만 아니라 소음 발생에 밀접한 영향을 미치는 인프라 구조 등이 상이하다. 따라서, 고속철도와 같이 국내 고유 모델과 이의 운용 인프라를 갖는 소음원에 대해서는 소음 발생메커니즘과 이의 모델링 방법에 관한 최신의 연구를 참조하여 실용성과 정확도를 확보할 수 있는 독자적 소음원 모델링 및 음향파위레벨 평가 방법 정립이 요구된다. 이를 위하여 철도에 관한 최신의 연구 결과인 Schall 03 2006과 IMAGINE 모델을 검토한 결과 국내 운행 중인 KDX-I, KDX-II 및 현재 개발 중인 HEMU400X에 대한 고속철도 환경소음예측을 위해서는 Table 3에 나타낸 사항에 대한 계측 및 해석 연구가 필요하다고 사료한다.

Table 3 Research items to develop environmental noise prediction model for high-speed trains

Object	Research items	Key parameters
Trains	<ul style="list-style-type: none"> ·Traction: noise level considering motor, transformer, reduction gear, fan, air conditioner and auxiliary equipment ·Aerodynamic: noise level considering shapes and structures of trains including bogies and pantograph ·Brake: noise level considering braker type ·Rolling: structure-borne noise due to vibration of car body 	<ul style="list-style-type: none"> ·Vehicle type ·Vehicle Speed ·Operation mode ·Source directivity
Railways	<ul style="list-style-type: none"> ·Track: absorption effect according to track type ·Structure: railway structure such as bridge ·Branch: impact ·Tunnel opening ·Etc: other noise-affecting components and materials 	<ul style="list-style-type: none"> ·Vehicle Speed ·Railway structure & track type
Combined effect	<ul style="list-style-type: none"> ·Rolling: noise level considering rail and track roughness ·Impact noise: branch, rail discontinuity ·Squeal: curve radius of track 	<ul style="list-style-type: none"> ·Vehicle Speed ·Rail and track surface condition ·Radius of track ·No. of axles
Modelling & propagation attenuation	<ul style="list-style-type: none"> ·Frequency dependency ·Segmentation of track and positions of sources ·Evaluation of attenuation during propagation outdoors 	<ul style="list-style-type: none"> ·Accuracy ·Applicability ·Authentication

4. 결 언

본 논문에서는 고속철도 환경소음 시뮬레이션 기술 개발을 위하여 가장 최신의 철도 환경소음예측인 Schall 03 2006과 IMAGINE 모델을 고찰하였다. 또한, 국내 운행 또는 개발 중인 고속철도에 대한 독자 환경소음예측모델 개발을 위한 연구 항목을 제시하였다. 차종, 속도, 운전 형태, 철도 구조 등에 따라 소음 발생 특성이 달라지는 철도 소음원 규명으로 저소음·친환경 고속철도 인프라 설계·건설 원천 기술을 확보하기 위해서는 소음원 기여도 분리 기술 등의 측정 기술을 정립하고, 이를 활용하여 소음 발생에 영향을 미치는 다양한 인자들을 측정 또는 해석할 수 있는 여건이 요구된다. 친환경 고속철도 건설을 위한 환경소음저감 핵심기술 개발 연구의 일환으로 수행 중인 환경소음예측 기술 개발 관련 연구에 대해 유관 기관 및 전문가들의 적극적 협조를 기대한다.

감사의 글

이 연구는 한국건설기술평가원 지원 미래철도기술개발사업의 “400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발”의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 조준호 외, “철도소음원 특성규명 및 환경소음 예측모델 개발에 관한 연구”, 한국철도기술연구원, 2005.5.
2. Website "www.imagine-project.org".
3. Margreet Beuving and Paul de Vos, "Improved methods for the assessment of the generic impact of noise in the environment - State of the art," IMA10TR-040423-AEATNL32, AEA Technology Rail BV, pp.30-33, 2004.10.
4. Department of Transport and the Welsh Office, "Calculation of railway noise", HMSO, London.
5. Hans G. Jonasson and Svein Storeheier, "Nord2000. New Nordic prediction method for rail traffic noise," SP Report 2001:11, SP Swedish National Testing and Research Institute, 2001.12.
6. Deutsche Bundesbahn, "Schall 03 2006 - Guidelines on the calculation of noise emissions of railways and tramways," München, Germany, 2006.
7. ISO 9613-2, "Acoustics - Attenuation of Sound During Propagation Outdoors - Part 2: General Method of Calculation," ISO, 1996.
8. M.G. Dittrich, "Improved methods for the assessment of the generic impact of noise in the environment - Railway noise source model, default source data and measurement protocol," IMA6TR-050912-TNO01, TNO, 2005.12.
9. Deutsche Bundesbahn, "Guidelines on the calculation of noise emissions from railways (Schall 03)," München, Germany, 1990.
10. R. Nota, R. Barelds, D.V. Maercke, "Harmonoise WP3 Engineering Method for Road Traffic and Railway Noise after Validation and Fine-Tuning", HAR32TR-040922-DGMR20, DGMR, 2005.1.20.